

“REQUISITOS SÍSMICOS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN”

En camino hacia una Norma Sísmica Nacional



cigre

For power system expertise

TUTORIAL

Santiago, 03 de diciembre de 2018

“REQUISITOS SÍSMICOS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN”

OBJETIVOS DEL TUTORIAL

- Poner a disposición del sector eléctrico el Documento Técnico elaborado por el Grupo de Trabajo Especial de CIGRE Chile: **“Recomendación de Requisitos Sísmicos para Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión”**
- Dar a conocer los principales temas incorporados en el documento con la finalidad de facilitar la comprensión del mismo por parte de los profesionales que toman las decisiones conceptuales de este tipo de Instalaciones como de los profesionales que realizan y/o revisan el diseño sísmico de los distintos elementos de este tipo de Instalaciones.

“REQUISITOS SÍSMICOS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN”

A QUIENES ESTÁ DIRIGIDO

El presente Tutorial está orientado a los distintos profesionales relacionados con el tema sísmico y la toma de decisiones en proyectos, suministro y construcción de líneas y subestaciones que conforman las Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión, tales como:

- Proveedores
- Profesionales responsables del Diseño y de la Revisión
- Profesionales responsables de la Construcción
- Dueños y/o Responsables de las Instalaciones
- Autoridades del Sector

“REQUISITOS SÍSMICOS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN”

OBJETIVOS DEL DOCUMENTO CIGRE

- ✓ Actualizar los requisitos sísmicos conocidos en base a la experiencia nacional y al análisis de normas y recomendaciones de diseño internacionales reconocidas.
- ✓ Minimizar las interpretaciones a los requisitos sísmicos, tanto por parte de ingeniería nacional como de ingeniería extranjera.
- ✓ Definir los requisitos sísmicos para todos los elementos que conforman este tipo de instalaciones.
- ✓ Unificar en un solo documento los requisitos sísmicos que deben cumplir en Chile los distintos elementos que conforman este tipo de instalaciones (equipos eléctricos, estructuras y obras civiles), haciéndolos coherentes y armónicos entre sí.
- ✓ Se propone que sea el documento base para la Norma Sísmica de las Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión de Chile (CIGRE Chile presentó oficialmente este documento a la CNE como Propuesta de Norma Sísmica para que sea considerado en el Plan Normativo del año 2019, correspondiente al proceso de emisión de normas del sector eléctrico)

“REQUISITOS SÍSMICOS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN”

FILOSOFÍA DE DISEÑO

Los requisitos que se definen están relacionados no solo con la resistencia a las sollicitaciones sísmicas y no sísmicas a las que estarán sometidos los distintos elementos que conforman las Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión, sino que también a las condiciones de disponibilidad de operación que deberán tener este tipo de instalaciones, situación que lleva a la necesidad de imponer requisitos de comportamiento sísmico que tienden a ser más exigentes que los aplicables a otras instalaciones industriales.

“REQUISITOS SÍSMICOS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN”

ALCANCE GENERAL DEL DOCUMENTO CIGRE

- Definir los requisitos que deben cumplir los equipos eléctricos, las estructuras, las fundaciones y las obras civiles correspondientes a las líneas y subestaciones eléctricas que conforman las Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión, incluyendo a las subestaciones eléctricas elevadoras de las centrales de generación, para ser considerados aceptables para ser instalados en Chile debido a su condición sísmica.
- Debe ser considerado por los Proveedores, los Diseñadores, los Revisores, los Contratistas y los Dueños o Responsables de las Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión en los procesos de diseño y construcción de dichas instalaciones.

“REQUISITOS SÍSMICOS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN”

ALCANCE PARTICULAR DEL DOCUMENTO CIGRE

- Los equipos eléctricos señalados explícitamente en el Anexo N°1 y otros equipos cuyo comportamiento sísmico pueda considerarse como asimilable a alguno de los equipos señalados en dicho anexo.
- Las estructuras y obras civiles señaladas explícitamente en el Capítulo 3 y todas aquellas cuyo comportamiento sísmico pueda considerarse como asimilable a alguna de las señaladas en dicho capítulo.
- Los sistemas de anclajes de equipos eléctricos y estructuras de soporte de equipos eléctricos a la fundación.
- Las fundaciones de las Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión.

CONTENIDO DEL TUTORIAL

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

CONTENIDO DEL TUTORIAL

1. Introducción
2. Contenido del Documento Técnico “Recomendación de Requisitos Sísmicos para Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión
3. Rompiendo “*tradiciones*”
4. Responsables de los diseños
5. Espectro de Diseño
6. Factor de Importancia, Factor de Modificación de la Respuesta y Razón de Amortiguamiento
7. Factor de Amplificación K_h y K_v
8. Solicitaciones de Diseño y Combinaciones de Carga

CONTENIDO DEL TUTORIAL

9. Equipos montados en altura y equipos suspendidos
10. Clasificación de equipos eléctricos
11. Nombre para los métodos de diseño estáticos
12. Equipos Eléctricos
13. Estructuras de soporte de equipos
14. Estructuras altas
15. Otras Obras Civiles
16. Capítulo 14 en Anteproyecto Actualización NCh 2369
17. Comentarios Audiencia
18. Cierre

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

1. INTRODUCCIÓN

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

1. INTRODUCCIÓN

ELABORACIÓN DEL DOCUMENTO CIGRE

La elaboración de este documento fue desarrollado por un Comité Técnico Especial convocado por CIGRE Chile, el cual estuvo conformado por diversos profesionales del sector, pertenecientes a empresas del área eléctrica, universidades y empresas consultoras de ingeniería, con un total de 15 integrantes permanentes, quienes desarrollaron los distintos análisis y prepararon los documentos de trabajo que dieron origen a la presente Recomendación, y 24 integrantes con participación parcial, quienes asistieron a algunas de las reuniones de trabajo y que tuvieron a su disposición, para sus comentarios y observaciones, los documentos de trabajo elaborados durante el proceso.

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

1. INTRODUCCIÓN

ELABORACIÓN DEL DOCUMENTO CIGRE

El Sub-Comité de Equipos, liderado por el Director Técnico de CIGRE Chile señor Hernán Casar (Consultorías HCC) estuvo integrado por los siguientes profesionales: Alex Müller (Transelec), Bladimir Rivas (Transelec), Dania Valdivia (EQCO), Ernesto Cruz (EQCO), Federico Reich (Reich Ingeniería), Gonzalo Calvo (Consultorías HCC) y Raúl Álvarez (Consultor Independiente y Profesor DIE FCFM Universidad de Chile).

En el Sub Comité Civil Estructural, liderado por la Directora de CIGRE Chile señora Marcela Aravena (Integral Servicios de Ingeniería) participaron los siguientes profesionales: Alejandro Fernández (Elecnor), Bladimir Rivas (Transelec), Dania Valdivia (EQCO), Ernesto Cruz (EQCO), Juan Cisternas (ACI Ingeniería), Juan González (Reich Ingeniería), Matías González (Transelec), Patricio Bilbao (ABC Ingeniería), Ramiro Basaez (Profesor Departamento Obras Civiles Universidad Técnica Federico Santa María) y Raúl Álvarez (Consultor Independiente y Profesor DIE FCFM Universidad de Chile).

En forma parcial colaboraron los profesionales señores: Alejandro Salazar (Geoservices por Chilquinta), Andrés Alvarado (Rodríguez y Goldsack), Arturo Goldsack (Rodríguez y Goldsack), Braulio Ortuzar (Chilquinta), Cristián Illanes (SEC), Daniel Mancilla (InterChile), David Watts (Profesor Departamento Ingeniería Eléctrica Pontificia Universidad Católica de Chile), David Zamorano (Hatch), Francisco Hernández (Colbún), Francisco Swett (InterChile), Franklin Stuardo (Saesa), Iván Soto (Chilquinta), Jaime López (Enel Distribución), Luis Humeres (Engie Energía), Marcelo Barrera (Comisión Nacional de Energía), Marco Peirano (Comisión Nacional de Energía), Nelson Urdaneta (Coordinador Nacional Eléctrico), Nicolás Gorriño (Celeo Redes), Pablo Medina (Frontera Energía), Paulina Muñoz (Comisión Nacional de Energía), Patricio Carmona (Engie Energía), Roger Schurch (Profesor Departamento Ingeniería Eléctrica Universidad Técnica Federico Santa María), Sebastián Fingerhuth (Profesor Departamento Ingeniería Eléctrica Pontificia Universidad Católica de Valparaíso) y Saul Urbina (Geoservices por Chilquinta).

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

1. INTRODUCCIÓN

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

- Sub Comité Equipos, liderado por Hernán Casar: orientado al desarrollo de las secciones relacionadas con el diseño sísmico de equipos eléctricos.
- Sub Comité Civil Estructural, liderado por Marcela Aravena: orientado al desarrollo de las secciones relacionadas con las estructuras, fundaciones y en general todas las otras obras civiles que forman parte de este tipo de instalaciones.
- Sesiones del Comité Ampliado para el desarrollo de los requisitos sísmicos comunes y para la revisión y coordinación final de los distintos capítulos y anexos.
- 75 reuniones de trabajo entre Octubre 2016 y comienzo de junio de 2018 más trabajo paralelo de los 15 integrantes permanentes, con un total aproximado de 3.300 HH.

1. INTRODUCCIÓN

NORMAS Y ESPECIFICACIONES UTILIZADAS COMO REFERENCIA

Documento	Año	Nombre
NCh 2369	2017	Anteproyecto Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales (propuesta de actualización NCh 2369 elaborado por el Comité a cargo del Instituto de la Construcción, ya entregado al INN para proceso de Consulta Pública).
ASCE 7	2016	Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures.
CIGRE Chile	2012	Lecciones y recomendaciones para el sector eléctrico derivadas del terremoto del 27 de Febrero del 2010 en Chile.
ASCE 113	2010	Substation Structure Design Guide.
ETG A.020	2008	Transelec. Especificaciones Técnicas Generales. Especificaciones de Diseño Sísmico de Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión.
ETG A.021	2005	Transelec. Especificaciones Técnicas Generales. Diseño Sísmico de estructuras de subestaciones.
IEEE 693	2005 2018	Recommended Practice for Seismic Design of Substations y Borrador 17 para actualización (Borrador aprobado por el grupo de trabajo de la IEEE).
ETG I.1.020	1997	Ingendesa. Especificaciones Técnicas Generales. Requisitos de Diseño Sísmico para Equipo Eléctrico. Versión Resumida.
ETG 1.015	1987	Endesa. Especificaciones Técnicas Generales. Diseño Sísmico.

2. CONTENIDO DEL DOCUMENTO

“RECOMENDACIÓN DE REQUISITOS SÍSMICOS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN”

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

2. CONTENIDO DEL DOCUMENTO “REQUISITOS SÍSMICOS...”

Capítulo 1: comprende los requisitos sísmicos que son comunes a los distintos elementos que conforman las Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión.

CAPÍTULO 1	
REQUISITOS GENERALES	
1.1. ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN	15
1.1.1. Alcance.....	15
1.1.2. Filosofía de diseño	15
1.1.3. Campo de aplicación.....	15
1.1.4. Normas y Especificaciones	16
1.2. DEFINICIONES.....	17
1.3. DISPOSICIONES PARA DISEÑO SÍSMICO	24
1.3.1. Alcance.....	24
1.3.2. Intensidad Sísmica de Diseño.....	24
1.3.3. Acciones sísmicas para el diseño	24
1.3.4. Espectro de Diseño o RRS	25
1.3.5. Factor de Importancia “ I_e ”, Factor de Modificación de la Respuesta “ R ” y Razón de Amortiguamiento “ α ”	27
1.3.6. Acciones simultáneas con el sismo	30
1.4. SOLICITACIONES DE DISEÑO	32
1.4.1. Solicitaciones de cargas permanentes (CP)	32
1.4.2. Solicitación Sísmica (E).....	32
1.4.3. Solicitaciones debidas a cargas de operación (CO o COs).....	33
1.4.4. Solicitaciones debidas a cargas de conexiones (T).....	33
1.4.5. Solicitaciones debidas a cargas de cortocircuito (FC)	33
1.4.6. Solicitaciones debidas a las condiciones meteorológicas (CA o CAs).....	34
1.4.7. Otras solicitudes	34
1.4.8. Combinaciones de cargas.....	34
1.5. DOCUMENTOS QUE RESPALDAN EL DISEÑO	36
1.5.1. Memorias de Cálculo	36
1.5.2. Planos.....	37

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

2. CONTENIDO DEL DOCUMENTO “REQUISITOS SÍSMICOS...”

Capítulo 2: comprende los requisitos sísmicos para los equipos eléctricos.

CAPÍTULO 2	
REQUISITOS SÍSMICOS PARA EQUIPOS ELÉCTRICOS	
2.1. ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN	39
2.1.1. Alcance.....	39
2.1.2. Filosofía de diseño	39
2.1.3. Campo de aplicación.....	39
2.1.4. Normas y Especificaciones	39
2.2. CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS DE ALTA TENSIÓN.....	41
2.3. REQUISITOS SÍSMICOS PARA EQUIPOS	42
2.4. MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA SOLICITACIÓN SÍSMICA DE EQUIPOS	43
2.4.1. Método Estático.....	43
2.4.2. Método de Coeficientes Estáticos.....	44
2.4.3. Método Estático Simplificado	45
2.4.4. Método de Análisis Dinámico por Superposición Modal Espectral	46
2.5. PRUEBAS EN MESA VIBRATORIA.....	47
2.5.1. Proceso para verificación del cumplimiento de los requisitos sísmicos	47
2.5.2. Pruebas en Mesa Vibratoria.....	47
2.6. PRUEBAS Y/O MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RAZON DE AMORTIGUAMIENTO	57
2.6.1. Pruebas de Oscilación Libre	57
2.7. MÉTODO ESPECIAL PARA VERIFICACIÓN SISMICA POR GRUPO DE EQUIPOS.....	60
2.8. ESFUERZOS DE ACOPLAMIENTO MECÁNICO	62
2.9. SOLICITACIONES DE DISEÑO PARA EQUIPOS	63
2.9.1. Fuerza de Cortocircuito.....	63
2.9.2. Solicitaciones debido a condiciones meteorológicas.....	64
2.10. REQUISITOS DE RESISTENCIA.....	65
2.10.1. Materiales dúctiles.....	65
2.10.2. Materiales no dúctiles y no poliméricos	66
2.10.3. Materiales poliméricos	70
2.11. ESTRUCTURAS DE SOPORTE.....	73
2.12. FIJACIÓN O ANCLAJE DE EQUIPOS	74
2.13. EQUIPOS MONTADOS EN ALTURA.....	75
2.14. EQUIPOS SUSPENDIDOS.....	76
2.15. CONEXIONES DE LOS EQUIPOS A LA RED DE ALTA TENSIÓN	77

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

2. CONTENIDO DEL DOCUMENTO “REQUISITOS SÍSMICOS...”

Anexo N°1: comprende los requisitos sísmicos particulares por tipo de equipo eléctrico y es parte integrante del Capítulo 2.

ANEXO N°1	
REQUISITOS SÍSMICOS PARTICULARES POR TIPO DE EQUIPO ELÉCTRICO	
A1.1. ALCANCE.....	155
A1.2. NIVEL DE TENSIÓN.....	155
A1.3. EQUIPOS RÍGIDOS.....	156
A1.4. EQUIPOS SEMI-RÍGIDOS	156
A1.5. EQUIPOS GIS Y SIMILARES	161
A1.5.1. Descripción general del equipo.....	161
A1.5.2. Requisitos sísmicos.....	162
A1.6. BANCOS DE CONDENSADORES.....	165
A1.6.1. Equipos de Compensación Serie de Líneas de Transmisión	165
A1.6.2. Bancos de condensadores en derivación (shunt).....	167
A1.7. EQUIPOS FLEXIBLES CON SIMETRÍA RESPECTO A SU EJE VERTICAL	168
A1.7.1. Equipo sin amortiguadores	169
A1.7.2. Equipos con amortiguadores.....	169
A1.7.3. Pararrayos.....	170
A1.7.4. Transformadores de Potencial, Condensador de Acoplamiento y otros similares	171
A1.7.5. Requisitos para estructura de soporte.....	171
A1.8. EQUIPOS FLEXIBLES SIN SIMETRÍA RESPECTO A SU EJE VERTICAL	172
A1.8.1. Equipo sin amortiguadores	173
A1.8.2. Equipos con amortiguadores.....	173
A1.8.3. Desconectores.....	174
A1.8.4. Requisitos para estructura soporte.....	175
A1.9. INTERRUPTORES.....	175
A1.9.1. Interruptores de Estanque Vivo o Live Tank	175
A1.9.2. Interruptores de Estanque Muerto o Dead Tank	175
A1.10. EQUIPOS MONTADOS EN ALTURA	176
A1.10.1. Equipos montados sobre estructuras tipo parrón.....	176
A1.10.2. Equipos montados sobre estructuras altas.....	176
A1.10.3. Equipos dentro de edificios o salas, montados en pisos superiores al nivel de terreno	177
A1.11. EQUIPOS ELÉCTRICOS INSTALADOS SUSPENDIDOS.....	177
A1.12. INSTALACIONES DE TRANSMISIÓN EN HVDC Y SUS SALAS DE VÁLVULAS.....	179
A1.13. OTROS EQUIPOS	179
A1.13.1. Bancos de baterías acumuladoras	179
A1.13.2. Celdas metálicas autosoportadas ancladas al piso	180
A1.13.3. Reactores en aire	181
A1.14. OTROS ELEMENTOS.....	182
A1.14.1. Barras rígidas de subestaciones aéreas	182

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@ingtegral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

2. CONTENIDO DEL DOCUMENTO “REQUISITOS SÍSMICOS...”

Capítulo 3: comprende los requisitos sísmicos para las estructuras de soporte de equipos, fundaciones de equipos y las otras estructuras y obras civiles que se encuentran dentro de las Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión.

CAPÍTULO 3	
REQUISITOS SÍSMICOS PARA ESTRUCTURAS, FUNDACIONES Y OTRAS OBRAS CIVILES	
3.1. GENERAL.....	79
3.1.1. Alcance	79
3.1.2. Filosofía de diseño.....	79
3.1.3. Campo de aplicación	79
3.1.4. Normas y Especificaciones	80
3.2. SOLICITACION SÍSMICA SOBRE ESTRUCTURAS DE SOPORTE Y FUNDACIONES DE EQUIPOS .	81
3.2.1. Alcance	81
3.2.2. Zonificación Sísmica	81
3.2.3. Solicitación Sísmica	82
3.2.4. Nivel Basal.....	82
3.2.5. Factor de Importancia “ I_e ”, Factor de Modificación de la Respuesta “ R ” y Razón de Amortiguamiento “ ξ ”	82
3.2.6. Determinación de las solicitaciones sísmicas mediante método estático equivalente.....	83
3.2.7. Determinación de las solicitaciones sísmicas mediante un método dinámico	84
3.3. MÉTODOS PARA DISEÑO SISMICO DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE Y FUNDACIONES DE EQUIPOS.....	87
3.3.1. Método Estático Civil.....	87
3.3.2. Método de Análisis Dinámico.....	91
3.4. SOLICITACIONES DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE SOPORTE Y FUNDACIONES DE EQUIPOS	96
3.5. DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE EQUIPOS.....	97
3.5.1. Alcance	97
3.5.2. Criterio general de diseño	97
3.5.3. Requisitos de rigidez global.....	97
3.5.4. Requisitos de rigidez local	98
3.5.5. Definición del sistema de fijación del equipo a la estructura de soporte	99
3.5.6. Diseño por resistencia de la estructura.....	99
3.5.7. Diseño del sistema de anclaje de la estructura de soporte a la fundación	99
3.5.8. Estructuras tipo parrón	99
3.5.9. Estructuras especiales de soporte de equipos	100
3.6. DISEÑO DE SISTEMAS DE ANCLAJE A LA FUNDACIÓN	101
3.6.1. General	101
3.6.2. Materiales	102
3.6.3. Solicitación sísmica para diseño	103
3.6.4. Pernos de anclaje en general	103
3.6.5. Cajas de anclaje.....	103
3.6.6. Llaves de corte.....	104
3.6.7. Topes sísmicos.....	104
3.6.8. Pernos de anclaje post instalados	105
3.6.9. Diseño de los sistemas de anclaje	105
3.6.10. Información requerida por parte del Proveedor del Equipo para el diseño de los sistemas de anclaje.....	106
3.6.11. Sistemas de anclaje de equipos a la fundación sin pernos de anclaje	106

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@ingtegral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

2. CONTENIDO DEL DOCUMENTO “REQUISITOS SÍSMICOS...”

Capítulo 3 (continuación)

3.7. DISEÑO DE FUNDACIONES.....	108	3.11. DISEÑO DE OTRAS OBRAS CIVILES DENTRO DE SUBESTACIONES.....	135
3.7.1. Alcance	108	3.11.1. Alcance	135
3.7.2. Requisitos Generales.....	108	3.11.2. Normas	135
3.7.3. Requisitos de Resistencia y Estabilidad.....	109	3.11.3. Solicitud Sísmica	136
3.7.4. Requisitos de Operatividad	110	3.11.4. Factor de Importancia “I”.....	136
3.7.5. Diseño de fundaciones tipo dado o zapatas.....	110	3.11.5. Factor de Modificación de la Respuesta “R”	137
3.7.6. Diseño de fundaciones con micropilotes	111	3.11.6. Requisitos de diseño	137
3.7.7. Diseño de fundaciones tipo pilas.....	113	3.11.7. Requisitos generales para el diseño de Obras Civiles de Subestaciones Eléctricas.....	138
3.8. DISEÑO DE FUNDACIONES PARA EQUIPOS GIS Y EQUIPOS DE COMPENSACION SERIE.....	117	3.11.8. Combinaciones de carga	138
3.8.1. Alcance	117	3.11.9. Diseño de muro cortafuego.....	139
3.8.2. Fundaciones para Equipos GIS	117	3.11.10. Diseño de salas eléctricas, casetas de control y otras edificaciones similares	140
3.8.3. Fundaciones para Equipos de Compensación Serie.....	121	3.11.11. Diseño de salas para equipos GIS interiores.....	141
3.9. REQUISITOS PARA LA REUTILIZACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE Y FUNDACIONES EXISTENTES.....	122	3.11.12. Diseño de sistemas colectores de aceite.....	142
3.10. DISEÑO DE ESTRUCTURAS ALTAS Y ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE ANTENAS	123	3.11.13. Estanque de agua.....	143
3.10.1. Alcance	123	3.12. INFORME DE MECÁNICA DE SUELOS.....	144
3.10.2. Consideraciones para el diseño sísmico de Equipos sobre estructuras altas.....	124	3.12.1. Alcance	144
3.10.3. Diseño de la sección local de la Estructura Alta donde se fija el equipo.....	126	3.12.2. Normas	144
3.10.4. Diseño de Estructuras Altas de Subestaciones	127	3.12.3. Responsable del Informe de Mecánica de Suelos	144
3.10.5. Caso Especial: Equipos suspendidos o colgados.....	132	3.12.4. Finalidad del Informe de Mecánica de Suelos.....	145
3.10.6. Diseño de Estructuras de Líneas de Transmisión	132	3.12.5. Exploración y Ensayos de Laboratorio.....	145
3.10.7. Diseño de Estructuras de Soporte de Antenas.....	133	3.12.6. Informe de Mecánica de Suelos para Subestaciones	147
3.10.8. Diseño de Fundaciones	134	3.12.7. Informe de Mecánica de Suelos para Líneas	152
		3.13. DOCUMENTOS QUE RESPALDAN EL DISEÑO.....	154

2. CONTENIDO DEL DOCUMENTO “REQUISITOS SÍSMICOS...”

Anexo N°2: comprende algunas metodologías de diseño de fundaciones utilizadas en la actualidad, señalando el alcance de la aplicación de cada una y se incluyen en el documento de CIGRE como un complemento del Capítulo 3 para que estén a disposición de los diseñadores que así lo requieran y permita uniformar procedimientos y criterios y así evitar interpretaciones de uso.

ANEXO N°2	
RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE FUNDACIONES	
A2.1. ALCANCE	185
A2.2. RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE FUNDACIONES CON MICROPILOTES Y PILAS	186
A2.3. MÉTODO X-Y MODIFICADO	188
A2.4. MÉTODO DE SULZBERGER	197
A2.5. MÉTODO PARA VERIFICACIÓN AL DESLIZAMIENTO	201
A2.6. CLASIFICACIÓN DE SUELOS TIPO ENDESA	204

3. ROMPIENDO “TRADICIONES”

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

3. ROMPIENDO “TRADICIONES”

1. Calificación sísmica v/s diseño sísmico v/s verificación del cumplimiento de los requisitos sísmicos

- Lenguaje tradicional ha utilizado “calificación sísmica” para referirse a “diseño sísmico” y también para referirse a “verificación del cumplimiento de los requisitos sísmicos”, siendo los tres términos diferentes entre sí.
- Calificación corresponde en general al acto de calificar, mediante un proceso riguroso y definido, que algo cumple ciertos requisitos predefinidos. Como resultado de la calificación debiera haber un Certificado de Calificación y los documentos que respalda el proceso realizado.
- El documento **“Requisitos Sísmicos...”** solo utiliza los términos “diseño sísmico” y “verificación del cumplimiento de los requisitos sísmicos”. No es una metodología de calificación.
- En general, para las estructuras, fundaciones y otras obras civiles, corresponde la aplicación del término **“diseño sísmico”** debido a que estos elemento se diseñan para resistir, entre otros, las sollicitaciones sísmicas.

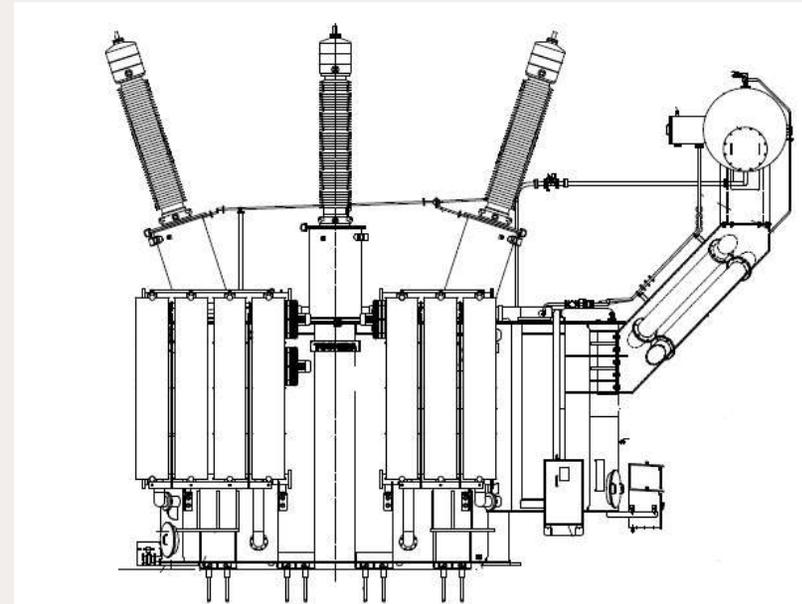
3. ROMPIENDO “TRADICIONES”

1. Calificación sísmica v/s diseño sísmico v/s verificación del cumplimiento de los requisitos sísmicos (continuación)

- Para los equipos eléctricos la situación es distinta: el diseño y la elección del material se realiza en base a normas de uso internacional definidas para cumplir con su función operacional, siendo la sollicitación sísmica una sollicitación adicional que deberán satisfacer para su operación en una zona sísmica.

Por esta razón, según sea el tipo de equipo, algunos de sus componentes se diseñan para cumplir con los requisitos sísmicos y para otros de sus componentes se verifica que su diseño y fabricación cumplan con dichos requisitos. Los componentes de un equipo que se diseñan sísmicamente y los componentes del mismo equipo para los que se verifica que cumplan con los requisitos sísmicos dependerán del tipo de equipo.

De lo señalado, para los equipos corresponde aplicar en general el término **“verificación del cumplimiento de los requisitos sísmicos”**.



3. ROMPIENDO “TRADICIONES”

2. Para el tema sísmico, basta decir que los equipos deben cumplir con la NTSyCS y el resto es problema de los civiles

- El tema sísmico es una realidad a nivel país y debe ser entendido como tal por quienes toman las decisiones de los proyectos, independiente de su profesión.
- Definiciones básicas en proyectos de subestaciones a veces son equivocadas por no considerar el tema sísmico desde su origen: especificaciones de compra de equipos para que cumplan la ETG 1.020 ($A_0=0,5g$) y luego los instalan en altura ($A_0 \gg 0,5g$); disposición de equipos compactas que no dejan espacio para las holguras necesarias que requieren los chicotes de conexión para que permitan a los equipos moverse libremente durante el sismo; disposición de equipos compactas que no dejan espacio para las dimensiones que requieren las fundaciones; etc.
- El diseño sísmico de la instalación requiere de que el diseño de todos sus elementos esté debidamente integrado entre sí de manera coordinada y oportuna.

3. ROMPIENDO “TRADICIONES”

2. Para el tema sísmico, basta decir que los equipos deben cumplir con la NTSyCS y el resto es problema de los civiles (continuación)

- Documento de CIGRE define los requisitos sísmicos de todos los elementos que conforman las Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión, evitando duplicidades e inconsistencias entre “criterios sísmicos eléctricos “ y “criterios sísmico civiles”, y define responsabilidades de los distintos actores.
- Documento de CIGRE incorpora conceptos que son propios del diseño sísmico, pero que hasta ahora no han sido explícitos para los equipos eléctricos y por ende no son conocidos por los profesionales eléctricos.
- Nuestra recomendación como CIGRE es que mientras no exista una Norma Sísmica Oficial para el ST, el presente documento sirva como guía de diseño sísmico para los proyectos en desarrollo.

3. ROMPIENDO “TRADICIONES”

3. El Espectro ETG 1.020 es independiente del tipo de suelo

- Se realizó un análisis del actual espectro ETG 1.020 para los tipos de suelo sísmico definidos en el actual DS N°61-2011, encontrándose que es válido hasta suelos Tipo C.
- Se incorpora Nuevo Espectro de Diseño para que sea válido hasta suelos Tipo D, situación que afecta a equipos de baja frecuencia como son equipos con aislación eléctrica de material polimérico.
- Para proyectos que se ubiquen en suelos de menor calidad que Tipo D, el documento “**Requisitos Sísmicos...**” señala que es el Dueño el que deberá definir el Espectro de Diseño.
- Importancia de que el Informe de Mecánica de Suelos incluya la clasificación sísmica del suelo no solo para el diseño de las obras civiles (situación actual), sino que también para la validación del uso del Espectro de Diseño (situación nueva).

3. ROMPIENDO “TRADICIONES”

4. Equipos como Transformadores de Poder y Reactores de Poder son equipos rígidos

5. Los equipos de las subestaciones eléctricas o son equipos rígidos o son equipos flexibles

- Equipos rígidos son aquellos que tienen una frecuencia fundamental mayor a 30 Hz.
- Los Transformador de Poder y los Reactores de Poder, así como otros similares, no tienen frecuencia fundamental mayor a 30 Hz, por lo que no son equipos rígidos.
- Los Transformadores de Poder, Reactores de Poder, Equipos GIS, Bancos de Condensadores, entre otros, son equipos que tienen partes rígidas y partes flexibles, ¿son entonces equipos flexibles?
- Se incorpora clasificación más amplia para los equipos eléctricos.

3. ROMPIENDO “TRADICIONES”

6. El “Factor Estructura” $K=1,5$ de la ETG 1.020 para el diseño del equipo permite “liberar” exigencias de rigidez a la estructura de soporte

- $K=1,5$ de la ETG 1.020 no tiene asociado un valor conocido de rigidez mínimo para la estructura de soporte; este valor de 1,5 es insuficiente si la frecuencia propia de la estructura de soporte es cercana a la del equipo (sistema “equipo + estructura de soporte” en resonancia \Rightarrow falla del equipo debido a la estructura de soporte).
- Documento CIGRE elimina el “factor estructura” en el diseño de los equipos eléctricos y se exige a todas las estructuras de soporte cumplir los requisitos de rigidez señalados en el documento “**Requisitos Sísmicos...**” (cláusulas 3.5.3 y 3.5.4)
- Estructuras que no cumplan los requisitos de rigidez señalados deberán ser probadas en mesa vibratoria junto con el equipo al cual soportan.
- Estructuras probadas en mesa vibratoria junto con su equipo pero no diseñadas considerando la masa de la fundación, deben considerar una factor de amplificación “**Kh**” a la sollicitación sísmica horizontal para el diseño del sistema de anclaje a la fundación (en general la placa base y el perno de anclaje)

3. ROMPIENDO “TRADICIONES”

7. Se “debe prohibir colocar equipos en altura” (muro cortafuegos, vigas de marcos de línea, otras estructuras altas)

- Prohibición es una limitación para el crecimiento de las instalaciones existentes.
- Se incorporan requisitos de diseño para equipos en esta situación, los que entre otros señala que el equipo debe ser diseñado para la Aceleración Basal amplificada que tendrá por estar en altura ($A_0 \gg 0,5g$)
- Se incorpora la solicitud sísmica como solicitud de diseño para la estructura alta donde se instala el equipo.

3. ROMPIENDO “TRADICIONES”

8. **Las estructuras que son soporte de equipos deben diseñarse “con holgura” para así poder instalar cualquier equipo después**
9. **Si cambio el equipo por uno que es más liviano, la estructura y fundación existente no tienen problemas y no es necesario revisarlas**
 - La estructura y fundación se diseñan para resistir las solicitaciones y para que el comportamiento sísmico del sistema “equipo + estructura + fundación” sea consistente con el comportamiento sísmico propio del equipo al cual soportan.
 - Una estructura de soporte “con holgura” solo resuelve el tema de la resistencia de solicitaciones. No necesariamente resuelve el tema del comportamiento sísmico, pudiendo ser incluso perjudicial para el equipo en algunos casos.
 - Peso menor del equipo no es sinónimo de mismo comportamiento del sistema “nuevo equipo + estructura existente + fundación existente”.

3. ROMPIENDO “TRADICIONES”

8. Diseñar estructuras “con holgura”...(continuación)

9. Cambio de equipo por uno más liviano...(continuación)

- Análisis de sensibilidad realizado por el Grupo de Trabajo CIGRE para el comportamiento sísmico del sistema “equipo + estructura + fundación” señala que para equipos muy livianos con respecto a la masa de la estructura de soporte, el análisis por el método estático equivalente puede subestimar los esfuerzos de la acción sísmica sobre el equipo.
- Cuando se cambia un equipo, se debe revisar que la estructura y fundación existentes sigan siendo adecuadas para el nuevo equipo: no solo por sollicitación sino que también por comportamiento sísmico.
- Se incorpora un requisito adicional de cumplimiento de la estructura de soporte, relacionado con la relación “masa equipo/masa estructura” para poder seguir haciendo diseños mediante análisis estático.

3. ROMPIENDO “TRADICIONES”

10. $R=3$ es para el diseño sísmico de cualquier estructura de soporte de equipo

- “**R**” es un factor definido en las normas sísmicas nacionales e internacionales que tiene como función reducir las fuerzas sísmicas elásticas hasta llevarlas a un nivel de fuerzas de diseño, tomando en cuenta la capacidad de disipación de energía que tiene el elemento y su ductilidad (disipación de energía por deformación).
- El valor del Factor de Modificación de la Respuesta “**R**” depende de que el tipo de material y la estructuración permitan liberar energía por deformación. En algunos casos “**R**” es menor a 3.
- El valor del Factor “**R**” también depende de si se acepta o no como criterio de diseño que la estructura se deforme para liberar energía. De no aceptarse deformación, “**R**” debe ser 1.

3. ROMPIENDO “TRADICIONES”

11. Fundaciones de equipos GIS deben ser rígidas y monolíticas

- ¿Qué se hace si se requiere de junta constructiva? (crecimiento posterior no previsto en el proyecto).
- ¿Qué se hace con la deformaciones propias de la fundación debido a las ondas sísmicas de corte considerando las dimensiones de la fundación?
- ¿Qué se hace con las deformaciones propias de la fundación debido a suelos de apoyo diferentes? (ejemplo son los fosos bajo la losa GIS).
- Documento “**Requisitos Sísmicos...**” señala que el diseño de las fundaciones de los equipos GIS debe hacerse de manera coordinada y en un proceso interactivo con el diseñador del equipo, teniendo que incorporarse absorbedores de desplazamientos en el equipo cuando sea necesario. La responsabilidad de esta coordinación es del Dueño de la Instalación.

3. ROMPIENDO “TRADICIONES”

12. El Informe de Mecánica de Suelos es para determinar los parámetros de resistencia del suelo para el diseño de fundaciones y basta con hacer algunas calicatas

- Las calicatas determinan parámetros para el diseño de fundaciones tipo losa + vástago o concretadas contra terreno. Si las fundaciones son de otro tipo, como por ejemplo pilotes, micropilotes o pilas, la información de las calicatas es insuficiente y se requiere de sondajes y otros estudios que deben ser determinados por el Ingeniero Geotécnico.
- La definición de los parámetros para el diseño de fundaciones es una parte del Informe de Mecánica de Suelos, no es el Informe de Mecánica de Suelos.
- El Informe de Mecánica de Suelos debe incluir los análisis de riesgos del proyecto (subestaciones y líneas): geológicos, crecidas de agua, avalanchas, rodados, etc.
- El Informe de Mecánica de Suelos debe incluir la identificación sísmica del suelo para: validar la utilización del Espectro de Diseño Sísmico (suelo hasta tipo D) y para la definición de las solicitaciones sísmicas para las otras obras civiles que sí se diseñan con la NCh 2369 (salas de comando entre otras)
- Se incorpora Sección 12 “Informe de Mecánica de Suelos” para líneas y subestaciones.

4. RESPONSABLES DE LOS DISEÑOS

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

4. RESPONSABLES DE LOS DISEÑOS

El documento “**Requisitos Sísmicos...**” define responsabilidades de los distintos actores que participan en los proyectos de Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión:

- **Diseñador:** profesional **responsable del diseño sísmico** del elemento (diseñador para equipos, diseñador para estructuras, diseñador para fundaciones, diseñador para obras civiles). Debe ser un profesional con a lo menos 5 años de experiencia en el diseño sísmico de elementos del mismo tipo o similares al cual es responsable.
- **Revisor:** profesional **responsable de la revisión del diseño sísmico** realizado por el Diseñador. Deber ser un profesional con a lo menos 10 años de experiencia en el diseño y/o revisión de diseños sísmicos de elementos del mismo tipo o similares al cual es responsable y deberá ser independiente del Diseñador.
- **Dueño:** corresponde al Propietario de la instalación y es el **Responsable Final** ante la Autoridad de que la instalación cumpla los requisitos sísmicos establecidos en el documento “**Requisitos Sísmicos...**”. Dentro del documento, se le definen responsabilidades particulares según situaciones especiales.

4. RESPONSABLES DE LOS DISEÑOS

- **Fabricante:** responsable de la fabricación del elemento. En el caso de los equipos eléctricos, es el **responsable del diseño sísmico de dicho equipo** y por ende **responsable de la elaboración** de toda la documentación que respalda el diseño sísmico del equipos.
- **Proveedor de equipo eléctrico:** responsable del suministro del equipo eléctrico y por ende **responsable de la entrega** de toda la documentación necesaria que respalda el diseño sísmico. Cuando el Proveedor es diferente del Fabricante, el Proveedor es **responsable subsidiariamente del diseño sísmico del equipo** el cual provee.
- **Contratista:** responsable del desarrollo de la ingeniería y/o construcción del proyecto de la Instalación y por ende, **responsable de la entrega** de todas la documentación necesaria que respalda el diseño sísmico. Cuando el Contratista también es responsable del Suministro de los Equipos Eléctricos, entonces también le corresponden las **responsabilidades del Proveedor**.

4. RESPONSABLES DE LOS DISEÑOS

- **Diseñador el equipo:** responsable de que el equipo cumpla con los requisitos sísmicos señalados en el documento “**Requisitos Sísmicos...**”, incluyendo la fijación del equipo a la estructura de soporte o el anclaje del equipo a la fundación cuando sea el caso.
- **Diseñador de la estructura de soporte:** responsable de que la estructura de soporte cumpla con los requisitos sísmicos señalados en el documento “**Requisitos Sísmicos...**”, incluyendo el anclaje de la estructura a la fundación.
- **Diseñador de la fundación:** responsable de que la fundación cumpla con los requisitos sísmicos señalados en el documento “**Requisitos Sísmicos...**”
- **Diseñador de las otras obras civiles:** responsable de que las casas de comando, salas GIS, muros cortafuego y otros similares cumplan con los requisitos sísmicos señalados en el documento “**Requisitos Sísmicos...**”

5. ESPECTRO DE DISEÑO

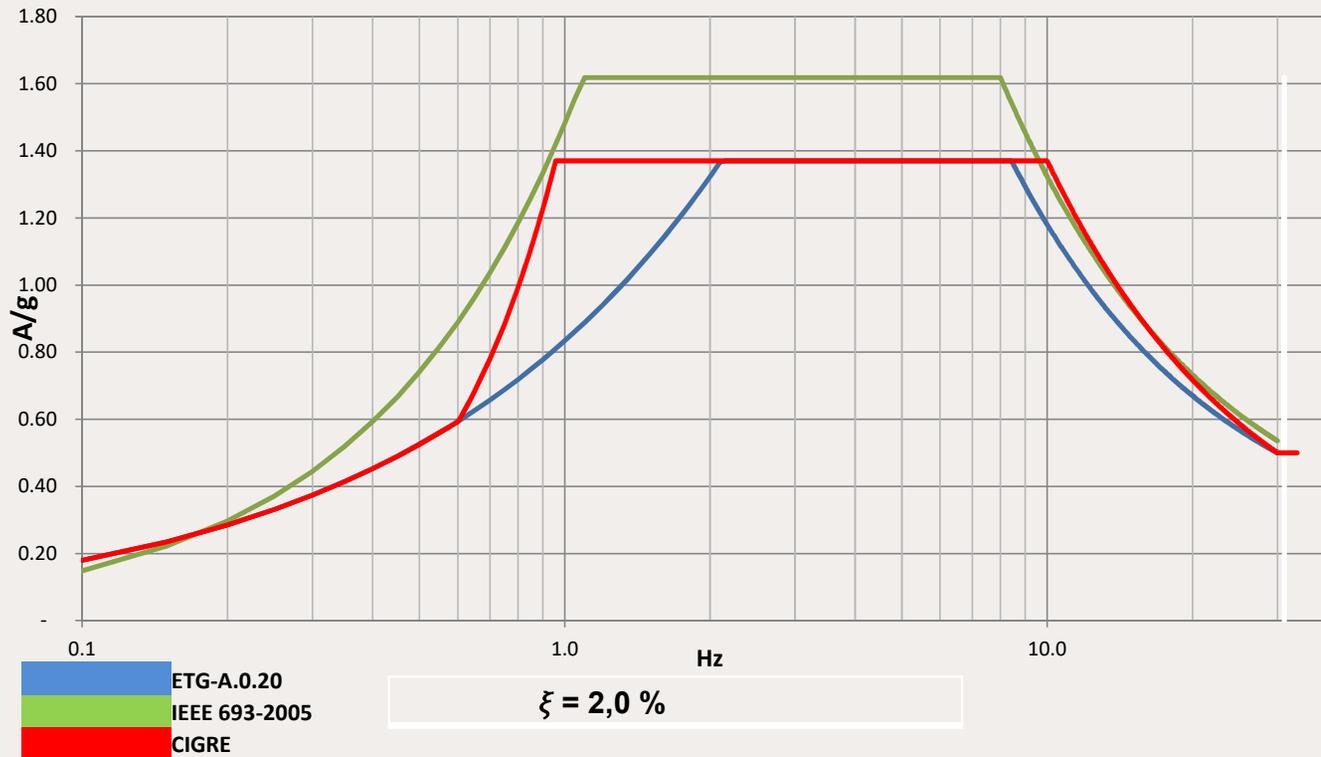
Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

5. ESPECTRO DE DISEÑO

Espectro de Respuesta Requerido



Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

5. ESPECTRO DE DISEÑO

$$\frac{S_d(f, A_0, \xi)}{g} = \begin{cases} \max \left\{ 2,75 \cdot A_0 \cdot (0,85 \cdot f)^{1,8} \left(\frac{0,05}{\xi} \right)^{0,4} ; A \cdot \left(\frac{f}{f_2} \right)^{\frac{2}{3}} \right\} & f < f_1 \text{ Hz} \\ A & f_1 \text{ Hz} \leq f \leq 10 \text{ Hz} \\ A_0 + (A - A_0) \cdot \frac{\left(\frac{30}{f} - 1 \right)}{2} & 10 \text{ Hz} < f \leq 30 \text{ Hz} \\ A_0 & f > 30 \text{ Hz} \end{cases}$$

ξ (%)	A (A ₀ =0,5g)	A (A ₀ =0,4g)	A (A ₀ =0,3g)	f ₁ (Hz)	f ₂ (Hz)
0,5	1,840	1,472	1,104	0,829	2,217
1	1,605	1,284	0,963	0,896	2,169
2	1,370	1,096	0,822	0,957	2,110
3	1,230	0,984	0,738	0,987	2,062
5	1,060	0,848	0,636	1,018	2,004
7	0,945	0,756	0,567	1,029	1,953
10	0,820	0,656	0,492	1,029	1,869
20	0,585	0,468	0,351	0,995	1,696

Tabla 1.2: Parámetros para el Espectro de Diseño

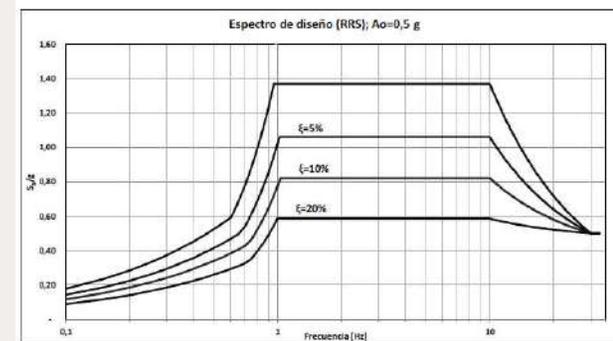


Figura 1.1: Espectro de Diseño para Frecuencia (Hz)

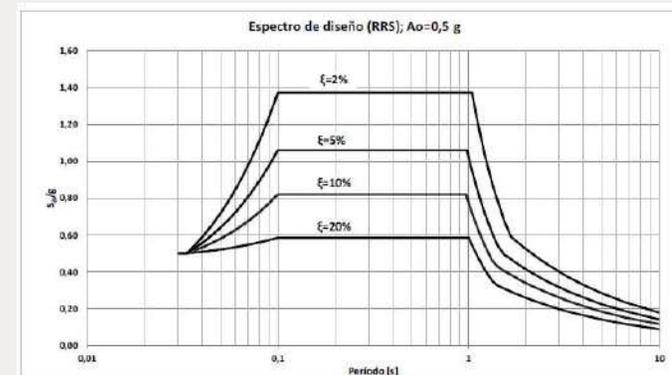


Figura 1.2: Espectro de Diseño para Periodo (s)

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@ingtegral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

6. FACTOR DE IMPORTANCIA “ I_E ”, “ I ”

**FACTOR DE MODIFICACIÓN DE LA
RESPUESTA “ R ”**

RAZÓN DE AMORTIGUAMIENTO “ ξ ”

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

6. FACTOR DE IMPORTANCIA – FACTOR DE MODIFICACIÓN DE LA RESPUESTA – RAZÓN DE AMORTIGUAMIENTO

1. Factor de Importancia “I_E” e “I”

- Factor definido en las normas sísmicas nacionales e internacionales para identificar la importancia de un equipo, estructura u obra civil con respecto a otro. Este factor depende también del Espectro de Diseño definido para dicho equipo, estructura u obra civil y debe considerarse como un factor de amplificación del espectro de diseño correspondiente.
- Normas NCh identifican el **factor de importancia** con la letra “I” y aplica al Espectro de Diseño de dichas normas. Para efectos del documento “**Requisitos Sísmicos...**”, el diseño de las obras civiles señaladas en la Sección 3.11 del Capítulo 3 se realiza con la Norma NCh 2369, pero con los factores de importancia “I” señalados en el documento “**Requisitos Sísmicos...**”
- A la fecha, para los equipos eléctricos, sus estructuras y sus fundaciones, no se ha considerado ningún factor de importancia explícito.
- Para compatibilizar el documento “**Requisitos Sísmicos...**” con las otras normativas sísmicas, se incorpora el factor de importancia y se identifica con la letra “I_E”. Este factor “I_E” está asociado a la **importancia del equipo eléctrico** y en consecuencia es el mismo que debe utilizarse en el diseño de su estructura de soporte y de su fundación y aplica al Espectro de Diseño definido en la Sección 1.3 del Capítulo 1.

6. FACTOR DE IMPORTANCIA – FACTOR DE MODIFICACIÓN DE LA RESPUESTA – RAZÓN DE AMORTIGUAMIENTO

2. Factor de Modificación de la Respuesta “R” o Factor “R”

- Factor definido en las normas sísmicas nacionales e internacionales que tiene como función reducir las fuerzas sísmicas elásticas hasta llevarlas a un nivel de fuerzas de diseño, tomando en cuenta la capacidad de disipación de energía que tiene el elemento y su ductilidad (disipación de energía por deformación).
- Este factor depende del material y estructuración del elemento y debe considerarse como un factor de reducción del espectro de diseño correspondiente al cálculo de las fuerzas de diseño (para el cálculo de los desplazamientos no se reduce el espectro de diseño) . Mientras mayor sea el valor del “R” mayor será la deformación que tendrá elemento producto de la sollicitación sísmica.
- A la fecha, este factor “R” ha sido utilizado en el diseño de las estructuras y fundaciones que son soporte de equipos eléctricos, pero para los equipos eléctricos no se ha considerado explícitamente ningún factor de modificación de la respuesta debido a que se consideran como elementos frágiles que no disipan energía. Implícitamente esto corresponde a considerar $R=1$.
- Para compatibilizar el documento “**Requisitos Sísmicos...**” con las normativas sísmicas, se incorpora el Factor “R” en el diseño de los equipos eléctricos.

6. FACTOR DE IMPORTANCIA – FACTOR DE MODIFICACIÓN DE LA RESPUESTA – RAZÓN DE AMORTIGUAMIENTO

Elemento a diseñar	"I _e "	"R"	Requisitos de Diseño
1. Equipos Eléctricos en general, incluidos GIS/GIL e incluidas estructuras de soporte de partes del equipo que se fijan o unen directamente al equipo principal	1	1	Capítulo 2
2. Estructuras de soporte de material dúctil sin redundancia estructural	El Factor "I _e " del Equipo	1,5	Capítulo 3
3. Estructuras de soporte de material dúctil con redundancia estructural		Máximo 3	Capítulo 3
3.1 Estructuras reticuladas de acero autosoportadas		3	Capítulo 3
3.2 Estructuras de soporte horizontales en voladizo con a lo menos 3 puntos de apoyos		2	Capítulo 3
3.3 Marcos de Acero		3	Capítulo 3
3.4 Marcos de Hormigón Armado		2	Capítulo 3
4. Estructuras de soporte tubulares, incluidos los monopostes de acero		1,5	Capítulo 3
5. Sistemas de anclaje:	El Factor "I _e " del Equipo	2	Capítulo 3
5.1 Pernos de anclaje embebidos en hormigón			
5.2 Pernos de anclaje post-instalados			
5.3 Otros elementos de los sistemas de anclajes descritos en la sección 3.6	2		
6. Fundaciones de hormigón armado		3	Capítulo 3
7. Otras estructuras de soporte de equipos eléctricos	El Factor "I _e " del Equipo	A definir por el diseñador	

Tabla 1.3: Valores de Factores "I_e" y "R"

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

6. FACTOR DE IMPORTANCIA – FACTOR DE MODIFICACIÓN DE LA RESPUESTA – RAZÓN DE AMORTIGUAMIENTO

3. Razón de Amortiguamiento “ ξ ”

Elemento a diseñar	“ ξ ”	Requisitos de Diseño
1.- Equipos Eléctricos en general, incluidos GIS/GIL e incluidas estructuras de soporte de partes del equipo que se fijan o unen directamente al equipo principal	2% Salvo que se demuestre un valor mayor	Capítulo 2
2.- Estructuras de soporte de hormigón armado, pretensado o post-tensado	2%	Capítulo 3
3.- Estructuras de soporte de acero con uniones soldadas	2%	Capítulo 3
4.- Estructuras de soporte de acero con uniones empernadas	5%	Capítulo 3
5.- Fundaciones de hormigón armado para estructuras de soporte	usar el valor asociado a la estructura de soporte	Capítulo 3
6.- Fundaciones de hormigón armado para equipos anclados directamente a la fundación $V_{s30} / 900$ m/s $V_{s30} < 900$ m/s Donde V_{s30} = velocidad de la onda de corte de acuerdo con la sección 3.12 del Capítulo 3	5% 7%	Capítulo 3

Tabla 1.4: Valores de Razón de Amortiguamiento “ ξ ”

6. FACTOR DE IMPORTANCIA – FACTOR DE MODIFICACIÓN DE LA RESPUESTA – RAZÓN DE AMORTIGUAMIENTO

4. Ejemplos de uso de “I_E” – “R” – “ξ” en la determinación de la sollicitación sísmica

- Análisis tipo estático: $C_H = I_E \cdot \frac{S_a(\xi, f)}{R \cdot g}$ Coeficiente sísmico horizontal
- Análisis dinámico: $S_{aH}(\xi, f) = I_E \cdot \frac{S_a(\xi, f)}{R}$ Espectro de aceleraciones horizontales
- $S_a(\xi, f)$: espectro de diseño para la razón de amortiguamiento “ξ” y la frecuencia “f”

7. FACTOR DE AMPLIFICACIÓN

“Kh” – “Kv”

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

7. FACTOR DE AMPLIFICACIÓN “Kh” – “Kv”

- Factor de Amplificación para la sollicitación sísmica estática equivalente horizontal “**Kh**” o vertical “**Kv**” que representa el efecto relevante de la amplificación dinámica que tiene el comportamiento de un equipo o parte de un equipo debido al efecto de la soportación particular donde se encuentra. Los valores de **Kh** y **Kv** se señalan en el Anexo N°1 según sea el caso.
- Esta situación se presenta por ejemplo en equipos que están montados en altura, equipos sobre estructuras de soporte en voladizo o equipos instalados horizontalmente, así como parte de equipos que se encuentran en una situación similar, tales como soportes de los estanques conservadores de aceite de transformadores de poder y los bushings, entre otros.

8. SOLICITACIONES DE DISEÑO Y COMBINACIONES DE CARGAS

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

8. SOLICITACIONES DE DISEÑO Y COMBINACIONES DE CARGA

1. Solicitaciones de diseño para equipos, sus estructuras de soporte y sus fundaciones

- **CP:** solicitaciones de cargas permanentes (peso propio y todas aquellas que actúan permanentemente sobre el elemento en diseño).
- **E:** solicitación sísmica, donde $E = E_h \pm E_v$
- Capítulo 2 define “E” para el caso de los equipos; Capítulo 3 define “E” para las estructuras de soporte y fundaciones de los equipos.
- **CO / COs:** solicitaciones debido a cargas de operación (presión interna, fuerzas provenientes de resortes, vibraciones, efectos térmicos, etc.), donde **COs** son las que se deben considerar simultáneas con el sismo.
- **T:** solicitaciones debido a cargas de conexiones (“Tirón”).
- **FC:** solicitaciones debido a la ocurrencia de un cortocircuito

$$F_c = \frac{0,0204 \cdot (2,5 \cdot I_c)^2 \cdot L}{d}$$

8. SOLICITACIONES DE DISEÑO Y COMBINACIONES DE CARGA

1. Solicitaciones de diseño para equipos, sus estructuras de soporte y sus fundaciones (continuación)

- **CA / CAs:** solicitudes debido a las condiciones meteorológicas propias del lugar en donde se implantan las obras (viento, nieve, hielo, variaciones de temperatura, etc.), donde **CAs** son las que se deben considerar simultáneas con el sismo cuando corresponda.

En el Capítulo 2:

- En general se elimina la condición de viento simultánea con el sismo, excepto para Radiadores de Transformadores de Poder y similares y para Unidades de Chisperos de Equipos de Compensación Serie de Líneas
 - Cuando el equipo se instale sobre una estructura alta, se debe considerar sismo (E) + viento (CAs), donde CAs es como mínimo el 25% de la presión de viento máximo de diseño de la estructura alta.
 - Para el resto de los casos, dependerá del lugar de emplazamiento del proyecto y de la probabilidad de ocurrencia simultánea de las solicitudes meteorológicas y el sismo.
- Otras solicitudes deben ser evaluadas según las particularidades del equipo y/o del proyecto.

8. SOLICITACIONES DE DISEÑO Y COMBINACIONES DE CARGA

2. Combinaciones de carga para diseño de equipos, sus estructuras de soporte y sus fundaciones

Método de Diseño por Tensiones Admisibles

$$\begin{aligned}CS1: & CP + CO + FC + CA \\CS2: & CP + E + COs + T + 0,6 \cdot FC \\CS3: & CP + E + COs + T + 0,6 \cdot FC + CAs\end{aligned}$$

Método de Diseño por Estados Límites Últimos

$$\begin{aligned}CU1: & 1,2 \cdot CP + 1,2 \cdot CO + 1,2 \cdot FC + 1,6 \cdot CA \\CU2: & 1,2 \cdot CP + 1,4 \cdot E + 1,2 \cdot COs + 1,2 \cdot T + 1,2 \cdot 0,6 \cdot FC \\CU3: & 1,2 \cdot CP + 1,4 \cdot E + 1,2 \cdot COs + 1,2 \cdot T + 1,2 \cdot 0,6 \cdot FC + 1,6 \cdot CAs\end{aligned}$$

Donde:

- Factor de 0.6 para la carga de cortocircuito “FC” simultánea con el sismo representa lo señalado en la cláusula 1.4.8 del documento **“Requisitos Sísmicos...”**
- El Diseñador debe evaluar las particularidades de cada instalación y definir otras solicitaciones y/o combinaciones de carga que puedan controlar el diseño.

8. SOLICITACIONES DE DISEÑO Y COMBINACIONES DE CARGA

3. Solicitaciones y combinaciones de carga (sísmicas) para otras estructuras y obras civiles

- Sección 3.10 del Capítulo 3: Diseño de estructuras altas y estructuras de soporte de antenas.
- Sección 3.11 del Capítulo 3: Diseño de otras obras civiles dentro de subestaciones.

9. EQUIPOS MONTADOS EN ALTURA Y EQUIPOS SUSPENDIDOS

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

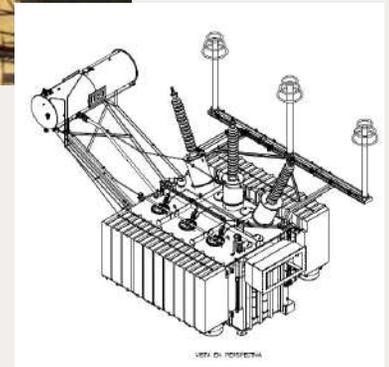
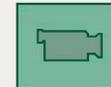
9. EQUIPOS MONTADOS EN ALTURA Y EQUIPOS SUSPENDIDOS

1. Equipos montados en altura

- Equipo que, independiente de su nivel de tensión, se instala sobre una estructura que no cumple con los requisitos de rigidez global o de rigidez local de la Sección 3.5 del Capítulo 3.
- Para estos equipos los requisitos sísmicos consideran un factor de amplificación **K_h** y **K_v** para considerar la amplificación de la Aceleración Basal que tendrán debido a su ubicación en altura (A_0 para estos equipos es mayor a $0,5g$), donde **K_h** puede llegar a 3 y **K_v** puede llegar a 1,4
- Los equipos que se encuentran en esta situación son los siguientes:
 - En estructuras tipo parrón
 - En estructuras altas (Marcos de Línea/Barras, Estructuras de Líneas de Transmisión)
 - En pisos superiores al nivel de terreno cuando se encuentran dentro de edificios o salas
 - En muros cortafuego
 - Instalados bajo el techo de las salas que los contienen (válvulas de sistemas HVDC)

9. EQUIPOS MONTADOS EN ALTURA Y EQUIPOS SUSPENDIDOS

1. Equipos montados en altura (continuación)



Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

9. EQUIPOS MONTADOS EN ALTURA Y EQUIPOS SUSPENDIDOS

2. Equipos suspendidos (o colgados)

- Equipo que cuelga libremente de techos de salas, parte inferior de vigas de estructuras altas y similares, mediante elementos flexibles que permiten un movimiento pendular del equipo.



- Si el sistema de suspensión no permite el movimiento pendular del equipo, entonces el equipo no puede considerarse como suspendido, debiendo de tener que considerarse como equipo montado en altura.

10. CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

10. CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS

- **Equipos Rígidos:** equipos cuya frecuencia fundamental es mayor o igual a 30 Hz
- **Equipo No Rígidos:** equipos cuya frecuencia fundamental es menor a 30 Hz
 - **Equipos Semi-Rígidos:** equipos conformados por un elemento principal de gran masa y rigidez, normalmente anclado directamente a la fundación, con componentes flexibles (Transformadores de Poder y Reactores de Poder).
 - **Equipos flexibles con simetría respecto de su eje vertical,** como son por ejemplo Interruptores, Transformadores de Potencial y de Corriente, Pararrayos, Aisladores de Soporte y otros similares.
 - **Equipos flexibles sin simetría respecto de su eje vertical,** como son por ejemplo Interruptores con Cámaras en T, Desconectadores y otros similares.
 - **Otros equipos no rígidos:** aquellos que no se pueden clasificar en alguna de las categorías anteriores tales como Equipos GIS y Bancos de Condensadores.

11. NOMBRE PARA LOS MÉTODOS DE DISEÑO ESTÁTICOS

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

11. NOMBRE PARA LOS MÉTODOS DE DISEÑO ESTÁTICOS

- **Definición Método Estático Equivalente:** Método que, a través de fuerzas estáticas equivalentes aplicadas en el centro de gravedad de los componentes del sistema estructural, representa adecuadamente el comportamiento dinámico de dicho sistema estructural cuando está sometido a la acción sísmica.

- Nombre dado a los distintos métodos estáticos equivalentes utilizados en el documento **“Requisitos Sísmicos...”**
 - **Método Estático:** nombre utilizado en el Capítulo 2 para el análisis estático equivalente de los equipos rígidos y para el diseño del sistema de anclaje a fundaciones de los equipos semi-rígidos.

 - **Método de Coeficientes Estáticos:** nombre utilizado en el Capítulo 2 para el análisis estático equivalente de los equipos no rígidos que así se señala explícitamente en el Anexo N°1

11. NOMBRE PARA LOS MÉTODOS DE DISEÑO ESTÁTICOS

- Nombre dado a los distintos métodos estáticos equivalentes utilizados en el documento “**Requisitos Sísmicos...**” (continuación)
 - **Método Estático Simplificado:** nombre utilizado en el Capítulo 2 para el análisis estático equivalente de aquellos equipos hasta 36 kV, salvo las excepciones que se señalan en el Anexo N°1
 - **Método Estático Civil:** nombre utilizado en el Capítulo 3 para el análisis estático equivalente de las estructuras y fundaciones de equipos eléctricos.

12. EQUIPOS ELÉCTRICOS

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

12. EQUIPOS ELÉCTRICOS

Desde el punto de vista de los equipos eléctricos propiamente tales, el documento del grupo del Grupo de Trabajo de CIGRE **“Recomendación de Requisitos Sísmicos para Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión”** moderniza y actualiza los requisitos de diseño sísmicos de la ETG-1.020, el cual corresponde a una versión resumida de las especificaciones de la ex Empresa Nacional de Electricidad para el diseño de los sistemas de transmisión eléctrica de Chile.

El documento de CIGRE no pretende en ningún caso aumentar las exigencias, pero sí establecerlas claramente, dejando menor espacio a las interpretaciones personales.

En su Capítulo 2 y Anexo N°1 del documento CIGRE se establecen los requisitos que se recomienda deben cumplir los equipos eléctricos de alta tensión, estableciendo las solicitaciones a considerar, los diferentes métodos de cálculo analíticos, estáticos y dinámicos, y métodos experimentales de verificación del diseño sísmico de estos.

También se establecen claramente los requisitos de resistencia y factores de seguridad que deben cumplir los materiales dúctiles, materiales no dúctiles (frágiles) y materiales poliméricos.

Adicionalmente, se incorporan los criterios de diseño de las conexiones eléctricas entre equipos y entre equipos y las barras de la subestación, de modo de dimensionar las holguras de las conexiones para permitir los desplazamientos relativos de las partes que se conectan eléctricamente y que se condicen con las fuerzas de “Tirón” definidas en las solicitaciones simultáneas con el sismo.

12. EQUIPOS ELÉCTRICOS

El documento propuesto no aumenta las exigencias sísmicas actuales como lo demuestran la siguientes fórmulas propuesta en el método de cálculo de coeficientes estáticos para los equipos (CI 4.4.2):

$$H = 1,2 \cdot I_E \cdot \frac{S_a(\xi, f)}{R \cdot g} \cdot W \cdot Kh \qquad V = 0,6 \cdot I_E \cdot \frac{S_a(\xi, f)}{R \cdot g} \cdot W \cdot Kv$$

- I_E = Factor de Importancia del Equipo = 1
 R = Factor de Modificación de la Respuesta para el Equipo = 1
 H = Fuerza Sísmica Horizontal aplicada en el centro de gravedad del equipo
 V = Fuerza Sísmica Vertical aplicada en el centro de gravedad del equipo
 W = Peso del equipo
 $S_a(\xi, f)$ = Ordenada del Espectro de Diseño
 Kh = Factor de Amplificación de la solicitud sísmica horizontal según Anexo N°1
 Kv = Factor de Amplificación de la solicitud sísmica vertical según Anexo N°1

12. EQUIPOS ELÉCTRICOS

En el Anexo N°1 del documento se establecen los requisitos particulares para cada tipo de equipo eléctrico diferente, indicando en cada caso los criterios de diseño que se deben verificar, factores de amplificación K_h y K_v a considerar y los métodos de cálculo aceptables de verificación del diseño conforme a su criticidad, haciendo diferencias de condiciones por niveles de tensión (voltaje) del equipo.

- **Equipos Rígidos:** $K_h=K_v=1,0$
Verificación por **Método Estático**
- **Equipos Semi Rígidos** (transformadores de poder y similares):
 - **Sistema de anclaje:** $K_h=K_v=1,0$ para peso < 150 ton
 $K_h=K_v=1,15$ para peso ≥ 150 ton o ≥ 245 kV
Verificación por **Método Estático**
 - **Radiadores y sus soportes:** $K_h=K_v=1,3$ y amortiguamiento 2%
Verificación por **Método de Coeficientes Estático**
 - **Estanque conservador y soportes:** $K_h=K_v=1,5$ y amortiguamiento 2%
Frecuencia > 15 Hz
Verificación por **Método de Coeficientes Estático**

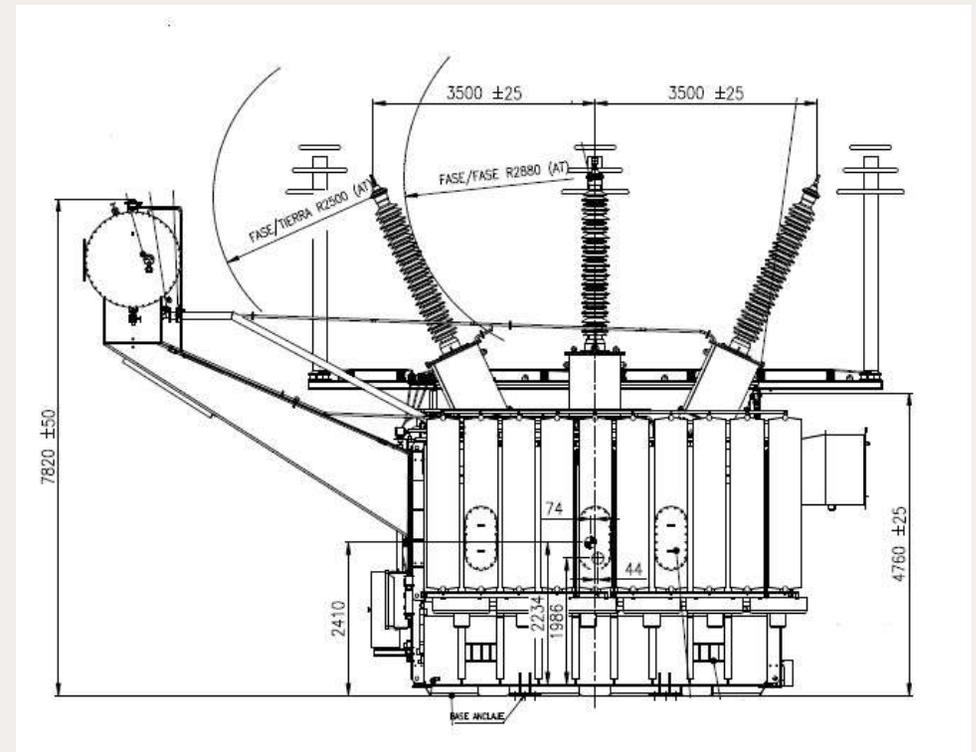
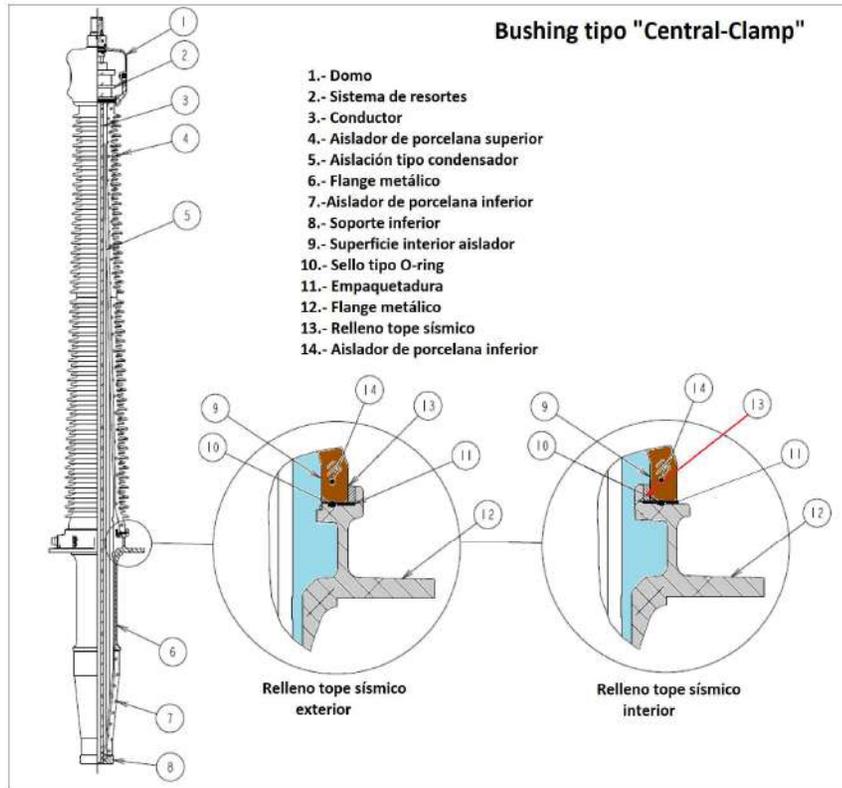
12. EQUIPOS ELÉCTRICOS

- **Equipos Semi Rígidos** (continuación):

- **Soporte de parte activa al estanque:** Verificación por **Método Estático** con aceleración de transporte no menor a 2,75 g.
- **Bushing y torretas:** Se definen requisitos según los tipos de bushing tipo 1 y tipo 2
 Tipo 1: Bushing de porcelana sometidos a esfuerzos de flexión
 Tipo 2: Bushing de porcelana no sometidos a esfuerzos de flexión (Central-Clamp)

Tipo de Bushing	Nivel de Tensión del Bushing	Requisitos
Tipo 1 Tipo 2	Hasta 170 kV	Método de Coeficientes Estáticos definido en la cláusula 2.4.2 del Capítulo 2, considerando una razón de amortiguamiento de 2% y con Factores de Amplificación $K_h = K_v = 1,4$
Tipo 1	Mayor a 170 kV Hasta a 245 kV	Método de Coeficientes Estáticos definido en la cláusula 2.4.2 del Capítulo 2, considerando una razón de amortiguamiento de 2% y con Factores de Amplificación $K_h = K_v = 1,5$
Tipo 1	Mayor a 245 kV	Ensayo en mesa vibratoria de acuerdo con lo señalado en la sección 2.5 del Capítulo 2 y con Factores de Amplificación $K_h = K_v = 1,6$
Tipo 2	Mayor a 170 kV	Ensayo en mesa vibratoria de acuerdo con lo señalado en la sección 2.5 del Capítulo 2 y con Factores de Amplificación $K_h = K_v = 1,6$

12. EQUIPOS ELÉCTRICOS



Relatora – Directora CIGRE:
 Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
 Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
 hcasar@consultoriashcc.cl

12. EQUIPOS ELÉCTRICOS

De igual manera y detalle se tratan también los siguientes tipos de equipos:

- **Equipos GIS y similares**
- **Bancos de condensadores serie y shunt**
- **Equipos flexibles con simetría respecto a la vertical (con y sin amortiguadores)**
- **Pararrayos**
- **Transformadores de Potencial, condensadores de acoplamiento y similares**
- **Equipos sin simetría vertical (con y sin amortiguadores)**
- **Desconectores**
- **Interruptores tanque vivo y tanque muerto**
- **Bancos de baterías**
- **Celdas metálicas**
- **Reactores en aire**
- **Barras rígidas en subestaciones**

12. EQUIPOS ELÉCTRICOS

A modo de ejemplo adicional de los requisitos detallados en una lámina anterior para los transformadores de poder, aquí resumimos los requisitos para:

Equipos flexibles con simetría respecto a la vertical: (sin amortiguadores) (interruptores, TTCC, aisladores soporte, etc.)

- Menores o iguales a 36 kV: $K_h=K_v=1,0$. Verificación por cálculo mediante **Método Estático Simplificado**
- Mayores a 36 kV: Verificación por **ensayo en mesa vibratoria**
- Alternativamente para equipos de niveles de tensiones hasta 550 kV que se instalen sobre estructuras de soporte que cumplan los requisitos de rigidez definidos en el documento, se acepta que la verificación se realice mediante el **Método de Coeficientes Estáticos** sin determinación de la frecuencia fundamental, considerando una razón de amortiguamiento de 2% y Factores de Amplificación $K_h = K_v = 1,0$.

Para este tipo de equipos, la IEEE693 versión próxima a oficializarse señala que para equipos desde 220 kV solo se permite verificación por ensayo en mesa vibratoria.

13. ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE EQUIPOS

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

13. ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE EQUIPOS

- **Su función es ser soporte de equipo eléctrico flexible** (Interruptores, Pararrayos, Desconectores, TPs, TCs, Aisladores de Pedestal y otros similares). También se conocen como “estructuras bajas”.
- Debido a que los equipos flexibles son de poca masa con respecto a su fundación, el comportamiento sísmico del sistema “equipo + estructura de soporte” está influenciado por el comportamiento sísmico de la fundación, razón por la cuál el análisis debe ser para el sistema “equipo + estructura de soporte + fundación”.
- Todas las estructuras de soporte de equipos deben cumplir con los requisitos que se señalan en la sección 3.5 del Capítulo 3, independiente del origen del diseño.
- **Criterio General de Diseño:** el diseño deberá ser consistente con el comportamiento sísmico que el equipo al cual soporta demostró cumplir y que corresponde a los requisitos sísmicos establecidos en el Capítulo 2 y en el Anexo N°1.
- Para cumplir con el Criterio General de Diseño, las estructuras de soporte de equipos (y sus fundaciones) deben diseñarse:
 - Considerando que el sistema de análisis es “equipo + estructura de soporte + fundación”
 - Que el Nivel Basal (lugar donde actúa la aceleración basal A_0) es el sello de fundación
 - Que deben cumplir con requisitos de **rigidez global** y requisitos de **rigidez local**

13. ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE EQUIPOS

- **Requisitos de rigidez local:** corresponden a la sección local de la estructura de soporte donde se apoya directamente el equipo
 - Se deben considerar todos los elementos necesarios para garantizar que la rigidez de dicha zona no permite desplazamientos o giros que puedan modificar el comportamiento sísmico del equipo.
 - La sollicitación sísmica para el diseño de la sección local deberá ser con un Factor de Modificación de la Respuesta de $R=1$
- **Requisitos de rigidez global:** corresponden a la estructura de soporte como un todo
 - i. La estructura de soporte deberá tener una relación **Masa Equipo / Masa Estructura de Soporte** $\geq 0,6$ (valor según análisis de sensibilidad realizado para 6 equipos diferentes con distinta relación masa equipo – masa estructura – masa fundación – rigidez suelo)
 - ii. La **frecuencia equivalente** de la estructura de soporte, calculada de acuerdo a lo indicado en el numeral iii) siguiente, deberá ser mayor que 4 veces la frecuencia fundamental del equipo (frecuencia fundamental del equipo calculada considerando que está anclado a una base fija) y mayor que 15Hz. Si no se conoce la frecuencia fundamental del equipo, la frecuencia equivalente de la estructura deberá ser mayor o igual que 30Hz.
 - iii. El cálculo de esta frecuencia equivalente de la estructura de soporte deberá realizarse considerando todas las propiedades de la estructura (masa y rigidez lateral) y agregando la masa del equipo que va a soportar como una masa concentrada en el tope de la estructura. El cálculo deberá considerar que la estructura de soporte está anclada a una base fija.

13. ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE EQUIPOS

➤ Situación Particular 1:

Estructuras de soporte de equipos flexibles que han sido incluidas en el diseño o verificación del cumplimiento de los requisitos sísmicos del equipo mediante ensayo en mesa vibratoria del sistema “equipo + estructura de soporte”:

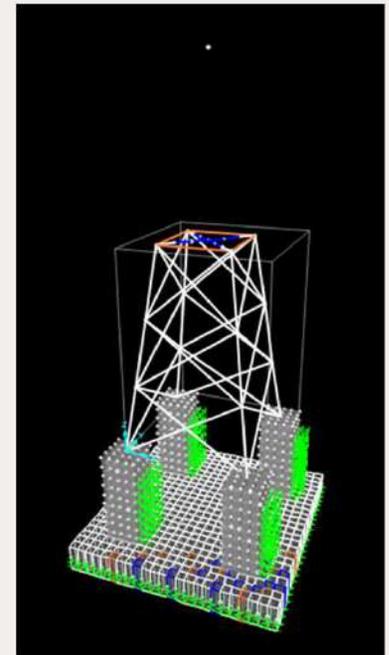
- No requieren de cumplir con los requisitos de rigidez.
- Si en el diseño de la estructura no se ha considerado la fundación, entonces su sistema de anclaje debe diseñarse considerando un Factor de Amplificación de $K_h = 1,25$ a la sollicitación sísmica horizontal (sistema de anclaje es normalmente la placa base, los pernos de anclaje y cualquier otro elemento según corresponda al diseño particular de la estructura de soporte).

13. ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE EQUIPOS

➤ Situación Particular 2:

Estructuras de soporte de equipos flexibles que no cumplen con alguno de los requisitos de rigidez y que no han sido incluidas en el diseño o verificación del cumplimiento de los requisitos sísmicos del equipo mediante ensayo en mesa vibratoria del sistema “equipo + estructura de soporte”:

- Su diseño debe realizarse considerando el sistema “equipo + estructura de soporte + fundación” mediante el Método de Análisis Dinámico definido en el Capítulo 3.
- La utilización de este método requiere entre otros de:
 - Disponer de información específica sobre el equipo, información que no siempre está disponible, sobre todo si el equipo no ha sido probado en mesa vibratoria.
 - La supervisión del Revisor Sísmico.



14. ESTRUCTURAS ALTAS

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

14. ESTRUCTURAS ALTAS

- **Definición de Estructura Alta:** corresponde en general a estructuras cuya finalidad es **sostener conductores de energía eléctrica**, y sus accesorios, instalados en altura, pudiendo o no sostener también equipos. Dentro de esta definición se encuentran las estructuras altas de subestaciones y las estructuras de soporte de líneas de transmisión de energía.
- De acuerdo a las normas internacionales y la experiencia internacional así como la nacional sobre todo después del 27F, el sismo en general no es una sollicitación que controle el diseño de estructuras con conductores flexibles. Sin embargo, cuando sobre ellas se instalen equipos eléctricos, entonces el sismo sí es una sollicitación que debe considerarse en el diseño.
- Se incorpora la Sección 3.10 donde se definen los requisitos sísmicos para estructuras altas con conductores flexibles y para las estructuras de soporte de antenas dentro de las instalaciones eléctricas de Alta Tensión.

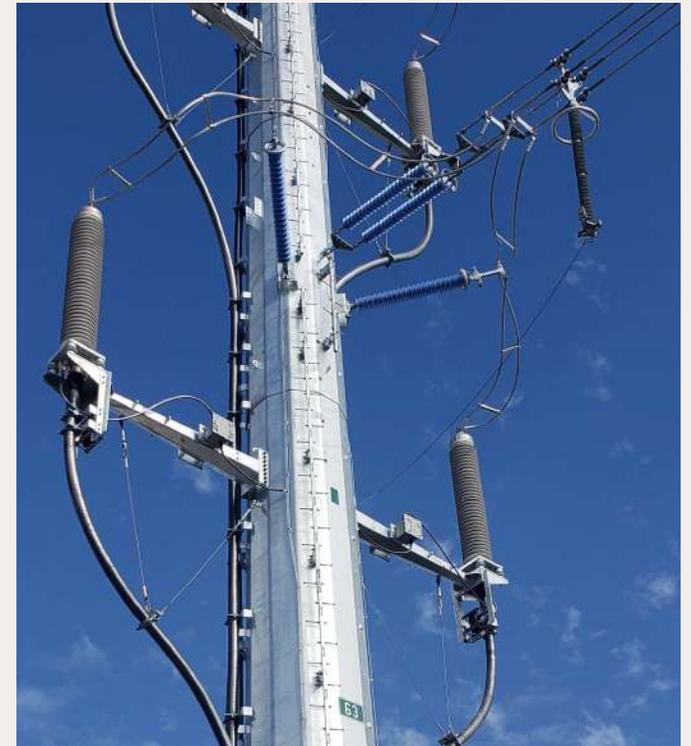
14. ESTRUCTURAS ALTAS

- Se debe tener presente que la función de este tipo de estructuras **no es ser soporte de equipos**, por lo que en sus requisitos sísmicos no se le pide que cumpla el criterio de rigidez global: es el equipo que se instala sobre ella el que debe verificar que cumple los requisitos sísmicos para una aceleración basal A_0 amplificada por la condición de altura (equipo montado en altura). El requisitos de rigidez local sí se debe cumplir.

- Análisis sísmico para estructuras altas considera dos situaciones:
 - Análisis estático cuando masa de equipos eléctricos y sus accesorios $< 25\%$ de la masa conjunta (equipos + accesorios + estructura alta)
 - Análisis dinámico cuando masa de equipos eléctricos y sus accesorios $\geq 25\%$ de la masa conjunta

- Análisis sísmico para estructuras altas debe considerar las siguientes cargas simultáneas:
 - Tensión mecánica de conductores con condición normal de operación (EDS)
 - Viento sobre estructura y equipos, con un mínimo de 25% presión de viento máxima definida para el proyecto

14. ESTRUCTURAS ALTAS



Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

15. OTRAS OBRAS CIVILES

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

15. OTRAS OBRAS CIVILES

- Se incorpora la Sección 3.11 donde se definen los requisitos sísmicos para las obras civiles de subestaciones eléctricas, con excepción de las fundaciones de equipos eléctricos, tales como son Salas de Mando, Salas y Casetas de Control, Salas GIS y Muros Cortafuego entre otros.
- El diseño de estas obras civiles no requiere de un Espectro Sísmico diferente al de las obras civiles de otras Instalaciones Industriales, por lo que el espectro sísmico de la norma NCh 2369 es suficiente.
- En términos generales, la Sección 3.11 señala que el diseño sísmico debe realizarse de acuerdo con la norma NCh 2369 (vigente y anteproyecto de actualización), pero con el Factor de Importancia “I” y el Factor de Modificación de la Respuesta “R” señalados en la misma Sección 3.11 del documento **“Requisitos Sísmicos...”**

16. CAPÍTULO 14 EN ANTEPROYECTO ACTUALIZACIÓN NCh 2369

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

16. CAPÍTULO 14 EN ANTEPROYECTO ACTUALIZACIÓN NCh 2369

- Anteproyecto Actualización NCh 2369 desarrollado entre 2015 y 2017 a través del Grupo de Trabajo del Instituto Chileno de la Construcción: incorpora como nuevo, entre otros, el Capítulo 14 “Sistemas de Generación y Transmisión de Energía Eléctrica”
- Finalidad de incluir ST en la Actualización de NCh 2369:
 - Explicitar criterios mínimos para diseño de estructuras de soporte y fundaciones de equipos eléctricos que ingeniería nacional conoce y que ingeniería extranjera desconoce y que no son los que define la NCh 2369 (son para otras instalaciones industriales) y que tampoco están en la NTSyCS
 - Para que los Licitantes extranjeros sepan que las exigencias sísmicas para los ST se define por “los Organismos Técnicos pertenecientes al Ministerio de Energía”.
 - Transitorio a la espera del documento **“Requisitos Sísmicos...”** que CIGRE Chile estaba en proceso de elaboración.
 - A la fecha de terminado el trabajo (2017) se esperaba que la Actualización de NCh 2369 saliera a Consulta Pública a comienzos del 2018 y fuera oficializada durante ese año.

16. CAPÍTULO 14 EN ANTEPROYECTO ACTUALIZACIÓN NCh 2369

➤ Capítulo 14 señala entre otros:

- Que estos sistemas deben cumplir con la NTSyCS de la CNE
- Define un Espectro de Diseño diferente al del resto de las estructuras de la norma NCh 2369: señala que corresponde al de la ETG 1.015 (razón principal por la que debe ser una norma diferente). El documento **“Requisitos Sísmicos...”** de CIGRE modifica ligeramente este espectro para el ST de acuerdo a lo visto en la Sección 5 de este Tutorial.
- Para el ST señala en varias cláusulas que la última palabra la tienen *“las Normativas emitidas por los Organismos Técnicos pertenecientes al Ministerio de Energía”*
- Para ST señala en varias cláusulas sobre los requisitos sísmicos de los equipos *“de acuerdo a lo definido en las Normativas emitidas por los Organismos Técnicos pertenecientes al Ministerio de Energía”*, es decir, no define nada para los equipos.
- Diferentes cláusulas de la sección 14.14 (ST) señala requisitos sísmicos para estructuras de soporte y fundaciones de equipos eléctricos *“tradicionales”* y corresponde en general a los requisitos que están en el Libro de CIGRE Chile *“Lecciones y recomendaciones para el sector eléctrico derivadas del terremoto del 27 de Febrero del 2010 en Chile”*

16. CAPÍTULO 14 EN ANTEPROYECTO ACTUALIZACIÓN NCh 2369

➤ Sistemas de Transmisión en Capítulo 14 señala entre otros:

- Equipos: $A_0 = 0,5g$
- Fundaciones de equipos pueden usar zonificación: $0,5g - 0,4g - 0,3g$
- Indicación general de cargas simultáneas con el sismo: Cortocircuito, Tirón de las Conexiones, Excentricidades, Cargas Operacionales, se deben considerar otras cargas según corresponda.
- Cláusula 14.14.3.1.5: *“Las combinaciones de carga, los factores de seguridad y otros requisitos de diseño deberán ser los señalados en las Normativas emitidas por los Organismos Técnicos pertenecientes al Ministerio de Energía”.*
- Cláusula 14.14.1.3 (14.14.1 Alcance de la sección 14.14 Instalaciones del ST): *“El diseño sísmico de las fundaciones y estructuras de soporte de equipos eléctricos del Sistema de Transmisión no es independiente del diseño sísmico del equipo al cual soportan, razón por la cual en la presente sección se abordan los criterios de diseño de equipos eléctricos, sus estructuras de soporte y sus fundaciones en forma conjunta”.*
- Cláusulas 14.14.3.2.1 y 14.14.3.2.2: indicación general de que equipos con amplificaciones dinámicas importantes por cabeceo deben considerar las amplificaciones que le pueden producir la fundación y la estructura de soporte (Pararrayos, Desconectores, TP, TC y similares) y que equipos que no tienen amplificación por cabeceo y están anclados a la fundación no requieren de considerar amplificaciones por cabeceo (como por ejemplo Transformadores de Poder habituales y otros similares). No señala como se hace el diseño de los equipos.

16. CAPÍTULO 14 EN ANTEPROYECTO ACTUALIZACIÓN NCh 2369

- Sistemas de Transmisión en Capítulo 14 señala entre otros (continuación):
 - Cláusula 14.14.3.2.3: *“Diseño sísmico de los componentes flexibles de los equipos sin amplificación dinámica y anclados a la fundación deberá considerar las amplificaciones dinámicas que le produce el equipo en su conjunto de acuerdo con los procedimientos definidos en las Normativas emitidas por los Organismos Técnicos pertenecientes al Ministerio de Energía”.*
 - Cláusula 14.14.3.3.2: *“El diseño sísmico de las fundaciones y estructuras de soporte de equipos deberá ser mediante un Análisis Estático Equivalente considerando que el nivel basal es el sello de fundación y que las sollicitaciones sísmicas se aplican a todos los pesos ubicados por encima del nivel basal, es decir, equipo, estructura, fundación y suelo sobre la fundación. Los casos especiales o excepciones serán definidos y tratados en las Normativas emitidas por los Organismos Técnicos pertenecientes al Ministerio de Energía”*
 - Diseño de estructuras y fundaciones para equipos con amplificaciones dinámicas: método estático combinado de distribución triangular + distribución uniforme (Pararrayos, Desconectores, TP, TC y similares)
 - Diseño de fundaciones de equipos sin amplificación dinámica y anclados a la fundación: método estático de distribución uniforme (Transformadores de Poder y similares)

- Situación actual a Diciembre 2018
 - NCh 2369 está en Consulta Pública desde el 19/octubre @ 19/diciembre 2018; no se sabe cuando será oficial.
 - Documento **“Requisitos Sísmicos...”** de CIGRE Chile ya existe y fue presentado oficialmente como Propuesta de Norma Sísmica para que sea considerado en el Plan Normativo 2019 de la CNE

16. CAPÍTULO 14 EN ANTEPROYECTO ACTUALIZACIÓN NCh 2369

➤ Conclusiones Sistemas de Transmisión en Capítulo 14 NCh 2369

- Explicita los criterios de diseño conocidos para estructuras y fundaciones de equipos “*tradicionales*”. Para los equipos propiamente tal, remite implícitamente a la NTSyCS.
- No entra en contradicción con el documento “**Requisitos Sísmicos...**” de CIGRE Chile, salvo en lo que se refiere al Espectro de Diseño, pero no incluye los requisitos para todos los elementos que conforman una instalación del ST.
- No es autosuficiente, requiere de utilizar los criterios de diseño “*definidos en los Organismos Técnicos pertenecientes al Ministerio de Energía*”.

De las conclusiones se desprende que lo señalado en el Capítulo 14 de la NCh 2369 es insuficiente para el diseño de las Instalaciones Eléctricas del Sistema de Transmisión.

Es opinión de CIGRE Chile que si después de la Consulta Pública de la NCh 2369 se mantiene lo que está actualmente, esto debiera considerarse como transitorio hasta que el ST tenga su propia Norma Sísmica emitida por “*los Organismos Técnicos pertenecientes al Ministerio de Energía*”.

- ### ➤ Se debe mantener Capítulo 14 para todas las cláusulas que se refieren a los requisitos sísmicos para el diseño de las Centrales de Generación.

17. COMENTARIOS DE LA AUDIENCIA

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

18. CIERRE

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

“REQUISITOS SÍSMICOS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN”

**Dónde estamos
Qué sigue**

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

ETAPAS REALIZADAS POR CIGRE

- ✓ Levantamiento de la necesidad de una normativa sísmica unificada para las Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión.
- ✓ Octubre 2016: conformar un Comité Técnico Especial integrado por diversos profesionales del sector, pertenecientes a empresas del área eléctrica, universidades y empresas consultoras de ingeniería.
- ✓ Octubre 2016 a Junio 2018: 3.300 HH del Comité Técnico Especial para análisis de información, análisis de experiencias y elaboración del documento **“Requisitos Sísmicos para Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión”**
- ✓ Junio a Agosto 2018: revisión final del documento, presentación a Directorio CIGRE Chile y aprobación por el Directorio.
- ✓ Septiembre 2018: Entrega a la Comisión Nacional de Energía del documento **“Requisitos Sísmicos para Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión”** como **Propuesta de Norma Sísmica** para ser considerada en el Plan Normativo del año 2019 si así la CNE lo estima conveniente.
- ✓ Diciembre 2018: Divulgación del documento **“Requisitos Sísmicos para Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión”** como **Recomendación CIGRE**.

ETAPAS SIGUIENTES

- Utilizar y difundir el documento **“Recomendación Requisitos Sísmicos para Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión”**
- Canalizar consultas y contribuciones al correo sismo@cigre.cl
- Eventual actualización del documento según sean las consultas y contribuciones recibidas al 30 de abril del 2019.
- Actualización futura del documento según nuevas experiencias nacionales y/o internacionales.

**MUCHAS
GRACIAS**

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@integral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

EXPOSITORES



Marcela Aravena Rodríguez

Ingeniero Civil Estructural
Universidad de Chile 1993

MBA de la Pontificia
Universidad Católica 2013

Socia INGTEGRAL Servicios
de Ingeniería SpA

Socia Colegio de Ingenieros

Directora CIGRE

marcela.aravena@ingtegral.cl

Ingeniero Civil Estructural con más de 20 años de experiencia profesional, principalmente en diseño y revisión de estructuras de proyectos de transmisión (líneas y subestaciones) y en coordinación de proyectos de líneas de transmisión.

Ha trabajado en empresas como Ingendesa, Transelec y CGE Transmisión. Como Consultor Independiente ha trabajado en proyectos para Colbún, Dessau, Transelec, Aes Gener, CGE Transmisión, Kipreos, BBosch, entre otros.

Dentro de su trayectoria profesional ha prestado diferentes servicios de ingeniería a proyectos de líneas de transmisión hasta 500 kV así como en la parte sísmica correspondiente a las estructuras y fundaciones de equipos eléctricos de subestaciones hasta 500 kV; servicios de ingeniería relacionados con elaboración de criterios de diseño, diseño propiamente tal, revisión de ingeniería, auditoría técnica, inspecciones de pruebas de carga de torres y otras asesorías relacionadas.

Desde 2013 se desempeña como Ingeniero Consultor, Socia de INGTEGRAL Servicios de Ingeniería SpA.

Ha integrado grupos de trabajo para elaboración de normativas y/o recomendaciones técnicas relacionadas con el sector de transmisión, tales como:

- 2010 CIGRE Chile: para el análisis del sismo del 27F en las instalaciones del sistema de transmisión.
- 2013 Empresas Eléctricas A.G y 2015 Generadoras A.G: para el proceso de la SEC sobre la actualización de la NSEG 5 E.n 71.
- 2015 - 2016 Instituto de la Construcción: para la actualización de la NCh 2369, Diseño Sísmico de Instalaciones Industriales.
- 2016 - 2018 CIGRE Chile: líder Grupo de Trabajo Técnico – Actualización requisitos de diseño sísmico de instalaciones eléctricas de alta tensión (sub grupo Civil-Estructural)
- 2017 CIGRE Chile: Co-Relatora Tutorial “Viento para el diseño de Líneas Aérea de Redes Eléctricas en Chile”
- 2018 CIGRE Chile: Co-Autora “Guía de Consulta. Análisis y Recomendaciones sobre efectos del viento en el diseño de Líneas Aéreas de Redes Eléctricas en Chile”
- 2018 CNE: Integrante del Comité Consultivo para el Anexo Técnico de la Norma Técnica

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@ingtegral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

EXPOSITORES



Hernán Casar Collazo

Ingeniero Civil Electricista
Universidad de Santiago 1970

Director Consultorías HCC
Ltda.

Director Técnico CIGRE

hcasar@consultoriashcc.cl

Ingeniero Civil Electricista con más de 40 años de experiencia profesional, principalmente en diseño y revisión de proyectos eléctricos de transmisión y generación y en la dirección de proyectos de subestaciones de alta tensión. Durante toda la vida profesional ha estado ligado al diseño sísmico de los equipos eléctricos de alta tensión y a las especificaciones y diseño de los equipos de alta tensión.

Ha trabajado en empresas como Endesa y Transelec, participando como responsable en proyectos de transmisión, tales como Cruce aéreo en 220 KV del Canal de Chacao, ampliación del sistema de transmisión 2x500 kV Ancoa- Charrúa, líneas interconexión Brasil – Argentina, Cien II entre otros.

Como Consultor Independiente ha trabajado en proyectos de Abengoa, Colbún, CNE, Coordinador Eléctrico, Alstom Chile, GE Francia, Coelme-EGIC Italia, Francia, Ferrovial España, Transelec, Sieyuan China, diferentes parque eólicos y solares, etc. entre otros.

Dentro de su trayectoria profesional ha prestado diferentes servicios de ingeniería a proyectos de subestaciones hasta 500 kV en particular en la parte de equipos de alta tensión y de diseño sísmico de estos. Ha elaborado y revisado los criterios de diseño, revisión de ingeniería, en particular ha actuado como revisor independiente del diseño sísmico de instalaciones de alta tensión de varios proyectos.

Desde 2008 se desempeña como Ingeniero Consultor, en Consultorías HCC SpA.

Ha integrado grupos de trabajo para elaboración de normativas y/o recomendaciones técnicas relacionadas con el sector de transmisión y diseño sísmico de equipo, tales como:

- 2010 CIGRE Chile: para el análisis del sismo del 27F en las instalaciones del sistema de transmisión. Lecciones aprendidas.
- 2013 Empresas Eléctricas A.G y 2015 Generadoras A.G: para el proceso de la SEC sobre la actualización de la NSEG 5 E.n 71.
- 2016 - 2018 CIGRE Chile: Líder Grupo de Trabajo Técnico – Actualización requisitos de diseño sísmico de instalaciones eléctricas de alta tensión (sub grupo Equipo Eléctrico)
- 2018 CNE: Integrante del Comité Consultivo para el Anexo Técnico de la Norma Técnica
- 1983 -2018 Inspector de ensayos en mesa vibratoria de diferentes equipos eléctricos hasta 500 kV, con y sin amortiguadores, para diferentes empresas de transmisión y fabricantes, en laboratorios CESI - Italia, Urbar – España, IABG – Alemania, Universidad de Buffalo, USA, Suzhou Electrical Research Institute – China.

Relatora – Directora CIGRE:
Relator – Director Técnico CIGRE:

Marcela Aravena R.
Hernán Casar C.

marcela.aravena@ingtegral.cl
hcasar@consultoriashcc.cl

“REQUISITOS SÍSMICOS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN”

En camino hacia una Norma Sísmica Nacional



cigre

For power system expertise

TUTORIAL

Santiago, 03 de diciembre de 2018